

LHC vs. Standardmodellen

Af Troels C. Petersen, Niels Bohr Institutet.

Standardmodellen har siden sin fødsel i starten af 1970'erne fejret utallige triumfer. Efter 20 års eksperimenter står den ubesejret tilbage, kun plaget af sine egen ufuldstændighed, der varsler nye partikler/fænomener rundt om hjørnet. Ved CERN er den længe ventede Large Hadron Collider (LHC) og de tilhørende eksperimenter ved at være færdiggjort, og forude venter jagten på den nye fysik, der kan indeholde alt fra hemmeligheden bag mørkt stof til ekstra dimensioner.

Standardmodellen i problemer

Standardmodellen har de sidste 20 år været partikelfysikkens bedste teori til at beskrive Universets byggestene og de kræfter der virker mellem dem. Men til trods for dens enorme succes, så har den nogle alvorlige mangler. For eksempel tillader Standardmodellen ikke, at partikler har masse, med mindre der eksisterer den såkaldte Higgs-partikel, og denne er ikke observeret... endnu!

Ved høje energier giver Standardmodellen også ufysiske forudsigelser, så som sandsynligheder over 100 %. Dette synes kun at kunne undgås ved at introducere nye partikler med masser omkring en størrelsesorden større end dem vi kan producere nu. Desuden kan man fra kosmologiske observationer deducere, at 96 % af Universet *ikke* er lavet af stof som vi kender det, og altså ikke passer ind i Standardmodellen. Sidst men ikke mindst omfatter Standardmodellen ikke tyngdekraften.

Af disse og mange andre grunde kan Standardmodellen ikke være det endelige svar, og derfor er man på jagt efter Standardmodellens udbygning eller efterfølger.

Partikelfysikere har et had-kærlighedsforhold til Standardmodellen! På den ene side, så er det jo fantastisk at have en smuk, præcis og veltestet model for den verden man lever i, men da Standardmodellen ikke kan være den endelige sandhed, så ønsker man også at finde ud af, i hvilken retning Universet har valgt at gå derefter. Can't live with it, can't live without it.

En svag duft af ny fysik

Næsten lige siden bekræftelsen af Standardmodellens forudsigelse af W - og Z -bosonerne i starten af 1980'erne¹, har partikelfysikere tænkt over, diskuteret, planlagt, beskrevet, designet, konstrueret, testet, analyseret, redesignet, bygget i stor skala, og testet igen efterfølgerne til disse eksperimenter.

¹ Det kan tilføjes, at denne opdagelse var en enorm sejr både for Standardmodellen men også for CERN, hvis accelerator muliggjorde opdagelsen og fik den hurtigst tildelte nobelpris nogensinde.

I det mellemliggende årti (1990'erne) lavede man forsøg ved CERNs Large Electron and Positron collider (LEP) og Fermilabs Tevatron. Mens Fermilab fandt den sidste brik i puslespillet, nemlig top-quarken, så lavede LEP nogle utroligt præcise målinger, og begge steder lå resultaterne på dydens/Standardmodellens smalle vej uden en eneste afvigelse.

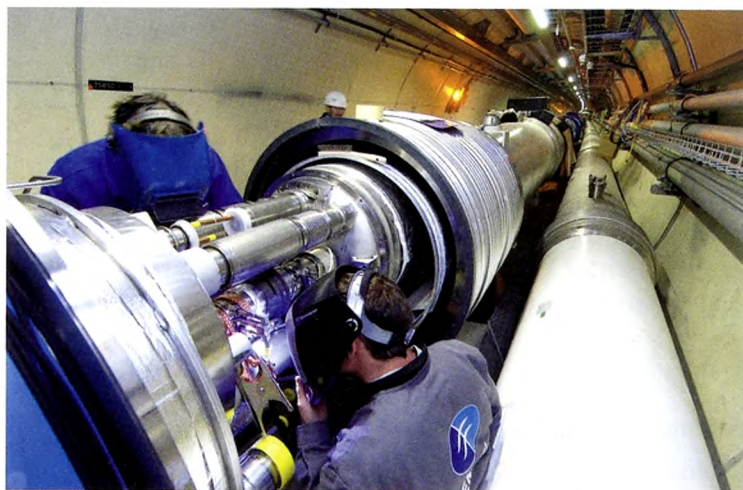
Men ved at kombinere resultaterne kunne man forudsige, at opdagelserne er lige om hjørnet, ikke mindst problemet med partiklers masse. Det problem kan nemlig løses, hvis man antager at der eksisterer en såkaldt Higgs-partikel, der så at sige 'giver' masse til de øvrige partikler. LEP har allerede ekskluderet en Higgs-partikel der vejer mindre end 114 GeV, og indirekte målinger (af loop processer, hvortil Higgsen bidrager) viser, at hvis den eksisterer, så vejer den med 90 % sikkerhed mindre end 300 GeV, hvilket LHC vil kunne be- eller afkræfte. Hvis Higgsen *ikke* eksisterer, ja, så er det 'noget andet', som har samme effekt på de præcisionsmålinger, hvorfra man har en ide om Higgs-massen, og det 'andet' ligger også indenfor LHCs rækkevidde.

The Higgs boson will be discovered, whether it is there or not! [Chris Quigg]

Men selv om Higgsen eksisterer, så løser det kun et problem af mange, og derfor er der meget mere at søge efter, end blot Higgsen. "Når vi har fundet Higgsen, så vil vi ikke blot have en fest og så tage hjem. Vi *vil* have en fest, men vi går *ikke* hjem". Scenen synes lagt for nye eventyr hinsides Standardmodellen, hvad end det er supersymmetri, ekstra dimensioner eller noget helt tredje.

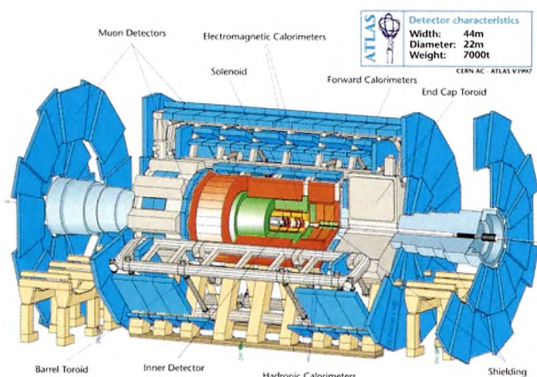
LHC – en ny æra i partikelfysik

Large Hadron Collider (LHC) er CERNs og (for den sags skyld) verdens flagskib hvad angår accelerators. Den vil kolliderer et hidtil uset antal protoner accelereret over 7.000.000.000.000 Volt (dvs. ved 7 TeV), og dermed zoome en faktor 10 dybere ind i stoffets hemmeligheder end (nogensinde tidligere) hidtil.



Figur 1. Et udsnit af LHC, der installeres i CERNs 27 km lange tunnel. Hele acceleratoren består af 2000 superledende magneter. I det fjerne skimtes gangens krumning.

LHC er blevet installeret i den 27 kilometer lange tunnel, som LEP førhen lå i (se figur 1). For LEP var ringens størrelse dikteret af, at elektroner pga. deres lave masse mister energi (i form af synkrotronstråling), når de accelereres, mens det for LHC er et spørgsmål om at holde protonerne i deres bane. Selv 2000 specialdesignede superledende magneter kan ikke holde protoner ved mere end 7 TeV i deres bane.

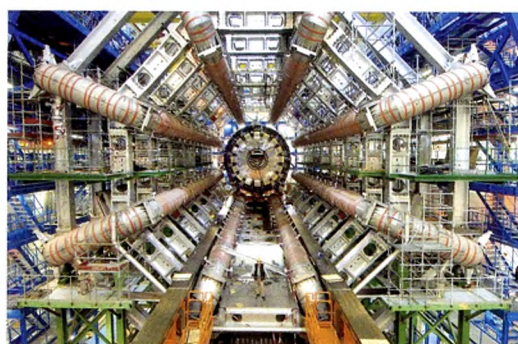


Figur 2. ATLAS-detektoren i snit. Nedenfor ses i grønt en 'standard fysiker' som reference.

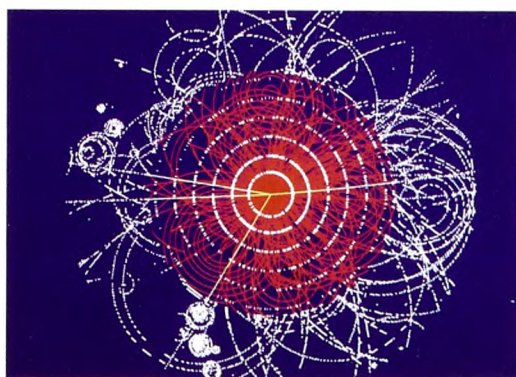
Sideløbende med LHCs konstruktion har omkring 5000 partikelfysikere fra hele verden arbejdet på at få dektorerne til de fire planlagte eksperimenter færdige. Der er to store generelle detektorer, ATLAS og CMS, og to mere specialiserede detektorer, LHCb (til studiet af B -mesoner og CP-brud) og ALICE (til målinger af tungsionskollisioner).

I jagten på nye fænomener er ATLAS og CMS de virkelige spillere.

Detektorernes størrelse og kompleksitet er på kant med almindelig fatteevne! Den cylinderformede ATLAS-detektor er væsentlig større end Rundetårn, og gør virkelig mennesker små (se figurene 2 og 3).



Figur 3. ATLAS-detektoren, da de otte yderste kæmpemagneter var blevet installeret. Bemærk manden i forgrunden.



Figur 4. Illustration af en Higgs-begivenhed i det indre af ATLAS-detektoren. De fire markerede rette linier viser de fire leptoner, som Higgsen henfaldt til, mens alle de andre spor er andre partikler fra kollisionen.

Det er en ingeniørmæssig kæmpeudfordring at få de forskellige detektordele placeret med 10-100 mikrometers præcision. Det presser elektronik og dataopsamling til deres teknologiers yderste, at skulle monitorere 100.000.000 kanaler 40.000.000 gange i sekundet

15.000.000 sekunder om året (dvs. $6 \cdot 10^{22}$ kanaludlæsninger), og udlæse den rigtige 1/1.000.000 af de begivenheder der kommer. Det kræver visionær brug af computere og netværk at få alle disse data rekonstrueret.

Sidst men ikke mindst tester det fysikernes evner ud i analyse, at få resultater ud af det virvar af tusinder af partikler fra op til 25 samtidige proton-proton kollisioner (se figur 4).

Men tingene er ved at tage form ved CERN, og efter mange års ventetid kan man mærke hvordan stemningen stiger og stiger. Detektorerne har nu været gennem testbeam, og for første gang har man testet, at de simuleringer man har betragtet i årevis holder stik, og at eksperimenter rent faktisk vil kunne opdage, hvad der end måtte være i vente.

Niels Bohr Institutet er med i ATLAS-eksperimentet, og deltager i både designet og afprøvning af elektronik samt simuleringen og kalibreringen af den yderste trackingdetektor, der samtidig kan identificere elektroner.

Det er som et tankeeksperiment, der snart ikke længere blot findes i tankerne men også i virkeligheden, og vi står ikke blot som tilskuere men som skuespillere midt i det store stykke om udforskningen af Universets mindste dele og dets naturlove.

Om Universet deler vores forestillinger om det, får vi at se i anmeldelserne efter LHCs opstart næste år. Standardmodellens mangeårige standhaftighed må i sidste ende nok ende med overgivelse. Og efter 25 års venten, glæder vi os til det.



Troels C. Petersen er PostDoc på Niels Bohr Institutet, og er tilknyttet ATLAS eksperimentet. Han arbejder med identifikation af elektroner og en præcisionsmåling af W-massen, som er den vigtigste brik i den indirekte måling af Higgsmassen. Til januar starter han som fellow på CERN.

Lad der være dværgplaneter!

Af John Rosendal Nielsen, Avedøre Gymnasium og KVANT-nyhedsredaktør.

– Og den Internationale Astronomiske Union (IAU) så, at det var godt. Så skete det! Diskussionen om planet definitionen fik sin afgørelse ved unionens generalforsamling, der blev afholdt fra den 14. til 25. august.

Hvis man slår op i en ordbog under planet kan man læse, at en planet er “et stort himmellegeme som kredser om en stjerne. ...” [1]. Dette er ikke en særlig klar definition på en planet, og grunden hertil er at begrebet planet kommer fra den græske oldtid, hvor det betyder den omflakkende eller den vandrende i modsætning til fiksstjernerne (der tilsyneladende ikke flytter sig i forhold til hinanden). Med brugen af kikkert til observationer af nattehimmelen blev det dog hurtigt klart, at der var mange flere objekter end blot de planeter, som

man kunne se med det blotte øje – dvs. Merkur, Venus, Mars, Jupiter og Saturn. Der blev opdaget yderligere planet såsom Uranus og Neptun samt mange måner, asteroider, m.m. Og så var der lige Pluto.

Planet-nekrolog over Pluto

Ud fra baneberegninger med Newtons mekaniske fysik for Neptun og Uranus havde man fundet uregelmæssigheder, der blev tolket som muligheden for en yderligere planet i Solsystemet.



Figur 1. Øverst ses de 8 klassiske planeter og nederst de foreløbige tre dværgplaneter. Tegning: IAU/Martin Kornmesser.